



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

RECUPERACIÓN INICIAL DE VEGETACIÓN POST-INCENDIO FORESTAL
EN PARQUE NACIONAL NONGUÉN

Proyecto de Título presentado a la Facultad de Ciencias Forestales de la
Universidad de Concepción para optar al título profesional de
Ingeniera en Conservación de Recursos Naturales

POR: Bárbara Hernández Solís

Profesor Guía: Dra. Paula Meli

Concepción, Chile 2023

© 2023

Bárbara Micheline Hernández Solís

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

RECUPERACIÓN INICIAL DE VEGETACIÓN POST-INCENDIO FORESTAL EN
PARQUE NACIONAL NONGUÉN



Profesor Guía

Paula Meli
Profesora Asistente
Bióloga, Dra.



Profesor Guía

Eduardo Peña
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Dr.

Calificación del Proyecto de Título:

Paula Meli : 6,0 (Seis coma cero)

Eduardo Peña F. : 6,0 (Seis coma cero)

DEDICATORIA

El resultado de este proyecto es dedicado a toda mi familia. Especialmente a mis padres, quienes me apoyaron y contuvieron en todo momento. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la esperanza de que si puedo levantarme a pesar de las caídas. me han enseñado a ser la persona que soy hoy con mis principios y valores. Por inculcar en mí, la importancia de ser perseverante para alcanzar cada uno de mis objetivos en la vida.

AGRADECIMIENTOS

La ejecución de este proyecto no pudo llevarse a cabo sin el apoyo de los profesores Paula Meli, Eduardo Peña y Marcelo González, equipo del LISAB de la facultad , amigos quienes me acompañaron en las salidas a terreno y fueron un apoyo a lo largo de la carrera. Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I.INTRODUCCIÓN	12
II. METODOLOGÍA.....	16
2.1 Descripción del área de estudio.....	16
2.2 Datos de campo	17
2.3 Variables ambientales para la creación de un índice de disturbio.....	17
2.3.1 Tamaño de Sitio.....	18
2.3.2 Factores Biofísicos.....	18
2.3.3 Severidad de Incendio.....	20
2.3.4 Invasiones Biológicas	22
2.4 Monitoreo y muestreo de parcelas.....	23
2.4.1 Creación del Índice de Perturbación.....	23
III. RESULTADOS.....	24
3.1 Sitios de plantación y establecimiento de parcelas.....	24
3.2 Factores Biofísicos	25
3.3 Severidad de Incendio	33
3.4 Invasiones Biológicas.....	35
3.5 Índice de Perturbación.....	37
3.6 Análisis de Supervivencia	39
IV. DISCUSIÓN	45
3.7 Evaluación y Análisis de los factores ambientales para la creación del Índice de Perturbación.....	45
3.7.1 Tamaño de sitio.....	46
3.7.2 Factores Biofísicos.....	46
3.7.3 Severidad de Incendio.....	47
3.7.4 Invasiones Biológicas	48
3.8 Índice de Perturbación.....	49

V. CONCLUSIONES	51
VI. BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Distribución aleatoria de parcelas en sitios de reforestación
- Tabla 2. Valores de salinidad de muestras de suelo por parcelas
- Tabla 3. Superficie cubierta de cenizas por parcela
- Tabla 4. Superficie de invasión por parcela
- Tabla 5. Niveles de Perturbación asociados a rangos estimados de los indicadores para la
Creación del índice de perturbación
- Tabla 6. Promedio de altura y DAC para individuos por parcela
- Tabla 7. Cantidad de individuos muestreados, promedio de altura y DAC de individuos
Monitoreados en diciembre de 2022
- Tabla 8. Promedio de altura y DAC para individuos monitoreados por parcela diciembre
De 2021
- Tabla 9. Cantidad de individuos muestreados por especie promedio, promedio de altura
Y DAC de individuos monitoreados en diciembre de 2021
- Tabla 10. Cantidad de individuos por especie muestreados por sitios diciembre 2022

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Área de Estudio

Figura 2. Mapa NBR 2019

Figura 3. Mapa NBR 2020

Figura 4. Sitios establecidos para el establecimiento de parcelas

Figura 5. Mapa de exposición de pendiente

Figura 6. Mapa de exposición radiación solar

Figura 7. Niveles de Severidad (NBR) Parque Nacional Nonguén

Figura 8. Gráfico cantidad de Individuos por especie

RESUMEN

Los incendios forestales son una de las mayores causas de la degradación ecosistémica en Chile. El verano del 2020 fue temporada de un régimen de incendios forestales en el Parque Nacional Nonguén. La superficie afectada se destacó por ser gran parte bosque caudocifolio, el cual es perteneciente a uno de los remanentes más grandes de la cordillera de la costa. Tras el gran daño ecosistémico que causó el régimen de incendios, la Fundación Reforestemos toma la iniciativa de reforestar con especies nativa la superficie quemada. Con el fin de recuperar estructuralmente la pérdida de bosque.

El proyecto se realizó en dos etapas, sin embargo, este proyecto se consideró la etapa N°1, la cual se realizó en junio-julio del año 2021 que comprendió una superficie total de 3,51 ha, donde se plantaron ejemplares de Quillay, Peumo, Maqui y Roble. No obstante, no posee una estrategia de monitoreo post- plantación. Es por esto que el principal objetivo de este estudio fue establecer una estrategia de evaluación de la recuperación inicial de vegetación mediante la creación de un índice de perturbación basado en factores ambientales que influyan en el desarrollo de los individuos plantados, como en tamaño de sitio, factores biofísicos, severidad de incendio e invasiones biológicas.

Los resultados indicaron una disminución en la supervivencia de los ejemplares, una alta degradación de la estructura de dosel, una acidez considerable puesto que la intensidad del fuego fue alta, ocasionado también altos niveles de severidad y con ello el arribo de especies invasoras, sin embargo, la supervivencia no afectó de la misma manera en todos los sitios de plantación. A mayor perturbación, menor supervivencia.

ABSTRACT

Wildfires are one of the biggest causes of ecosystem degradation in Chile. The summer of 2020 was the season of a wildfire regime in Nonguén National Park. The affected area stood out for being largely caudocifolio forest, which belongs to one of the largest remnants of the coastal mountain range. After the great ecosystem damage caused by the fire regime, the Reforestemos Foundation takes the initiative to reforest the burned surface with native species. In order to structurally recover the loss of forest.

The project was carried out in two stages, however, this project was considered stage N°1, which was carried out in June-July 2021 that comprised a total area of 3,51 ha, where specimens of Quillay (*Quillaja Saponaria*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Maqui (*Aristotelia chilensis*) and Roble (*Nothofagus obliqua*) were planted. However, it does not have a post-planting monitoring strategy. That is why the main objective of this study was to establish an evaluation strategy of the initial recovery of vegetation by creating a disturbance index based on environmental factors that influence the development of planted individuals, such as site size, biophysical factors, fire severity and biological invasions.

The results indicated a decrease in the survival of the specimens, a high degradation of the canopy structure, a considerable acidity since the intensity of the fire was high, also caused high levels of severity and with it the arrival of invasive species however, survival did not affect all planting sites in the same way. The greater the disturbance, the lower the survival.

I.INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son responsables de una pérdida sustancial en los servicios que otorga el ecosistema forestal a nivel mundial (Souza-Alonso et al., 2022). En Chile, según los reportes de CONAF 2015, al menos 100% de los incendios forestales son considerados de origen antropogénico (Úbeda & Sarricolea 2016).

Por lo que representa una importante fortaleza en ser aporte hacia la degradación forestal y no estando ajeno al régimen de perturbaciones ecosistémicas que estos traen como consecuencia. Por lo que se han vuelto uno de los principales problemas medioambientales del país.

La gran mayoría de los incendios forestales son provocados por agentes antrópicos o intervención humana (quemadas ilegales, fogatas en sectores no habilitados, etc.). Por lo que, la constante ocurrencia de estos ha tenido un notable incremento durante los últimos 25 años debido a que son de gran carga combustible en bosques con características mediterráneas, lo que en Chile se da en la gran mayoría de bosques que abarcan desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Bío-bío (Peña & Valenzuela, 2004).

Durante los últimos 10 años ha habido 16 mega incendios que han alcanzado 444.000 hectáreas entre la Región de O'Higgins y Región del Bío-bío. Donde cabe destacar que la zona concentra el 83% del área quemada consiste en ser parte de la Cordillera de la Costa según el Informe de Incendios en Chile, Causas, Impactos y Resiliencia (CR₂). El año 2017, los ecosistemas terrestres más afectados en Chile por incendios forestales son el bosque esclerófilo, espinoso, caudocifolio y matorral espinoso. Esto debido a que su condición arbórea es dominante, su estructura está compuesta por una gran cantidad de biomasa aérea y combustibilidad, en comparación a otros tipos de ecosistemas.

El Parque Nacional Nonguén se ubica en la provincia de Concepción, Región del Bío-bío y comprende las comunas de Hualqui, Chiguayante y Concepción, abarca aproximadamente 3.036,9 hectáreas y es un punto importante dentro de la provincia. Esto debido a que protege el último remanente importante de bosque caudocifolio de Concepción. No obstante, es importante destacar que, en épocas anteriores, este tipo de bosque cubría por completo la Cordillera de la Costa en donde la región del Bío-bío y en la actualidad dichos bosques han sido reemplazados casi en su totalidad por plantaciones forestales y cultivo agrícola.

Así mismo, la Región del Bío-bío en el año 2020 fue impactada por una serie de incendios forestales durante el periodo de enero-febrero, en donde el bosque caudocifolio fue la principal carga combustible, donde la intensidad y severidad del incendio afectó aproximadamente 110 hectáreas, de las cuales el 50% formaba parte del bosque nativo del cerro Maquimavida, en dirección hacia ese entonces Reserva Nacional Nonguén, actual Parque Nacional Nonguén.

En post de la fuerte serie de perturbaciones que ocasionaron los incendios, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el Gobierno Regional del Bío-bío y en principal colaboración con Fundación Reforestemos. Se toma la decisión de proteger y reforestar en parte la superficie quemada del bosque Caudocifolio afectado. Proceso se pretende recuperar la estructura y cubrir el área afectada con especies de árboles que se adapten al ecosistema previo al incendio. Este proceso a cargo de la Fundación Reforestemos es un proyecto que se implementó en base a dos etapas. La primera etapa de reforestación se realizó durante el periodo de junio-julio del año 2021, con un total de 8000 plantas de árboles y arbustos nativos de diferentes especies como Quillay (*Quillaja saponaria*), Roble (*Nothofagus obliqua*), Maqui (*Aristotelia chilensis*) y Peumo (*Cryptocarya alba*). Más adelante, el segundo periodo de plantación fue ejecutado durante los meses de julio-agosto del año 2022 con alrededor de 40.000 plantas correspondiente a especies de Roble (*Nothofagus obliqua*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Maqui (*Aristotelia chilensis*), Laurel (*Laurelia*

sempervirens) y Lingue (*Persea lingue*). No obstante, en el presente proyecto se realiza el estudio y análisis del primer periodo de reforestación, correspondiente al periodo de junio-julio de 2021.

El primer proceso de monitoreo post-reforestación se realizó durante el mes de diciembre del 2021, cinco meses posteriores a la primera etapa de plantación. Sin embargo, las condiciones ambientales y condiciones de suelo que se generan después de los episodios de grandes incendios cambian. Puesto que, este actúa como una perturbación de alta ocurrencia, que puede alterar la recuperación de la vegetación nativa post- incendio y el establecimiento de nuevas especies. esto varía dependiendo de diversos factores. Algunas condiciones bióticas y abióticas, tales como el clima, la posición topográfica, variables edáficas, cobertura vegetal, entre otros.

Los procesos de reforestación son procesos importantes para la recuperación de bosque nativo y cubrir la superficie perturbada. Sin embargo, también posee algunas limitaciones y disyuntivas para una exitosa ejecución. Donde el riesgo de deforestación, el estado de protección hacia los ejemplares recién plantados, el acceso hacia los sitios para un correcto y preciso monitoreo y la vulnerabilidad del sitio ante la llegada de las especies invasoras pueden ocasionar que el proceso de reforestación avance lentamente o no sea un proceso exitoso.

Para el proceso de monitoreo en los proyectos de reforestación, en el presente caso, como se realizó en el Parque Nacional Nonguén, si bien existe algún monitoreo que se realizó en post a la plantación a la primera etapa del proyecto. Actualmente, no existe una estrategia que se adapte a las principales necesidades ambientales para un correcto y preciso monitoreo. Basado en variables que afecten directamente al establecimiento y desarrollo de las especies. Por lo que el principal objetivo del presente proyecto se basa en establecer una estrategia para el monitoreo hacia la recuperación inicial de vegetación post-incendio forestal en el Parque Nacional Nonguén. Mediante la creación de un índice

de perturbación basado en variables ambientales que se involucren directamente para el establecimiento de las especies reforestadas en el periodo junio-julio del año 2021.

II. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio está comprendida en la zona Noroeste dentro de los límites del Parque Nacional Nonguén. Corresponde a la superficie de la primera etapa de reforestación del Parque Nacional Nonguén. Superficie que fue afectada por el régimen de incendios forestales en el periodo enero-febrero del año 2020. El área delimitada fue cartografiada en mayo de 2022 abarcando una superficie total de 3,18 ha que se comparten en ocho rodales establecidos en el presente proyecto. La superficie por cada uno de los sitios fue calculada arrojando los siguientes valores. El sitio N°1 posee una superficie mayor con 1,75 hectáreas, sitio N°2 contiene una superficie de 0,21 hectáreas aproximadamente, el sitio N°3 posee un área de 0,03 hectáreas, sitio N°4 con 0,02 hectáreas, sitio N°5 con 0,08 hectáreas, sitio N°6 con 0,58 hectáreas, sitio N°7 con 0,45 hectáreas y el sitio N°8 con 0,05 hectáreas aproximado.

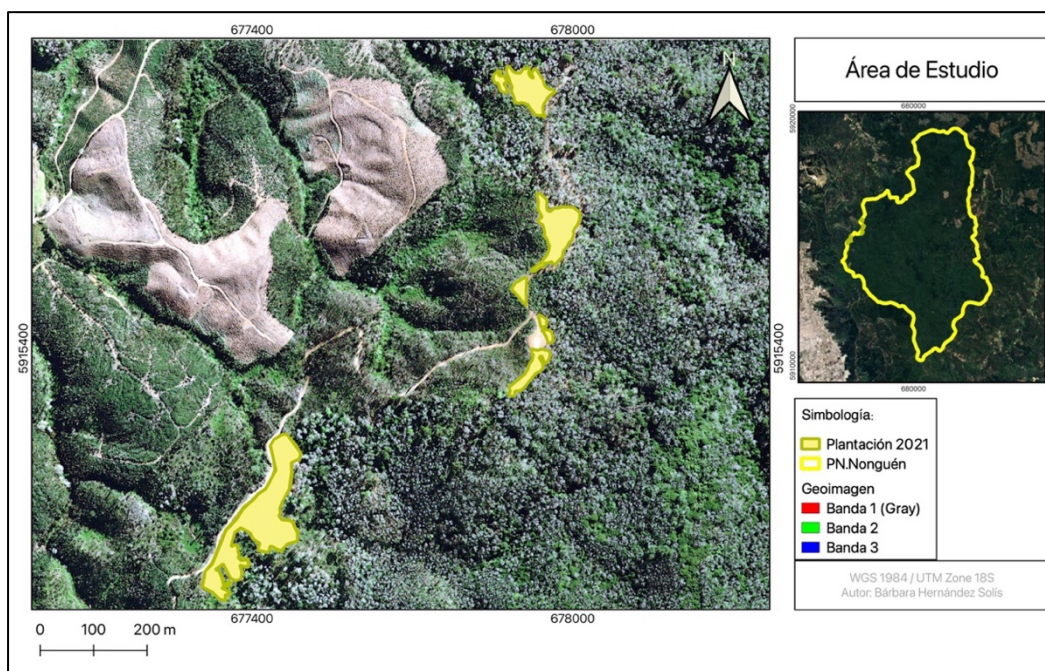


Figura 1. Ubicación sitios de reforestación, primera etapa del proyecto a cargo de Fundación Reforestemos en Parque Nacional Nonguén.

2.2 Datos de campo

Los datos recopilados fueron basados en el Informe de Reforestación 2021 y su estado de avance del proyecto Parque Nacional Nonguén, otorgado por la Fundación Reforestemos. Según los datos compilados por el informe, el proceso de reforestación abarca una superficie total de 3,51 hectáreas, en donde se realizaron labores de control mecánico de especies exóticas, ordenamiento de desechos en faja para la confección de casillas de plantación con excavadora. Las dimensiones de cada casilla fue de 1m x 1m x 70cm de profundidad. Siendo distribuidas aleatoriamente.

Se reforestaron 8000 plantas aproximadamente, distribuidas en 4400 plantas de Quillay (*Quillaja saponaria*), 1200 plantas de Roble (*Nothofagus obliqua*), 1200 plantas de Maqui (*Aristotelia chilensis*) y 1200 plantas de peumo (*Cryptocarya alba*). Sin embargo, para la evaluación de este proyecto, se estableció una superficie aproximada de 3,18 hectáreas distribuidas en ocho sitios. Al interior de cada sitio se establecieron parcelas de 25 m² y de 225 m².

2.3 Variables ambientales para la creación de un índice de disturbio

La implementación de estrategias de monitoreo en proyectos de reforestación es fundamental para asegurar su éxito. Así el seguimiento del desarrollo y establecimiento de individuos plantados sería permanente. Para la confección del índice de perturbación para reforestaciones en sus periodos iniciales se establecieron cuatro variables ambientales que fueron evaluadas con el fin de analizar su influencia dentro del proceso de desarrollo y establecimiento de los árboles plantados. Las variables designadas fueron; Tamaño de Fragmento, Factores Biofísicos, Severidad de Incendio e Invasiones Biológicas.

2.3.1 Tamaño de Sitio

Para el análisis de los sitios reforestados, fue necesario establecer ocho polígonos de plantación mediante el procesamiento de imágenes en Qgis versión 3.26. para esto mediante las herramientas de geoprocreso se le designó un número a cada polígono establecido como sitio y por consiguiente se realizó el cálculo de cada una de las superficie en hectáreas correspondiente a cada sitio establecido. Para un total de 3,18 hectáreas reforestadas en la primera etapa de plantación (junio-julio 2021). Además, al interior de cada uno de los sitios , se distribuyeron aleatoriamente parcelas cuadradas de 15m x 15m y de 5m x 5m, Según muestra la siguiente tabla.

Tabla 1. Distribución aleatoria de parcelas en sitios de Reforestación, Parque Nacional Nonguén, Región del Biobío

N° de Sitio	N° de Parcelas	Superficie por parcela
N°1	3	225m ²
N°2	3	25m ²
N°3	2	25m ²
N°4	2	25m ²
N°5	1	25m ²
N°6	3	25m ²
N°7	3	25m ²
N°8	1	25m ²

2.3.2 Factores Biofísicos

Los factores biofísicos que se consideraron fueron el análisis de datos de clima y Temperatura, provenientes de la estación meteorológica de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) correspondiente a la estación Carriel Sur. Variables topográficas como la elevación; la cuál fue calculada mediante el procesamiento de

imágenes satelitales en Qgis versión 3.26 mediante un modelo de elevación digital (DEM) perteneciente al Parque Nacional Nonguén y el cálculo de curvas de nivel con una distancia de 50m entre ellas, desde el punto de elevación más bajo, hacia el punto de elevación más alto. Otra de las variables analizadas fue la pendiente, el cálculo del grado de inclinación del terreno donde se establecieron cada uno de los sitios reforestados. El cálculo de la pendiente se realizó mediante herramientas de geoprocreso de Qgis, cuyos valores fueron expresados en números enteros categorizados en rangos de 1 a 5 según el valor del grado de inclinación de su pendiente. Para la creación del modelo de pendiente, se utilizó un modelo de elevación digital del Parque Nacional Nonguén, ajustando sus límites hacia el área de estudio mediante el uso de la herramienta Slope. Para su categorización en porcentaje (%) fue necesario reclasificar las categorías y asignarles un valor a cada rango , donde hubo valores métricos que abarcan desde una pendiente muy escarpada hasta una pendiente plana. a mayor porcentaje, mayor es el grado de inclinación de la pendiente. También , otra de las variables analizadas fue la exposición solar donde se estableció aquellos sitios en donde incide la mayor cantidad los rayos del sol a lo largo del día. La categorización de la radiación fue establecida mediante cinco categorías de exposición. Que va desde valores de radiación baja hacia valores de radiación muy alta.

Por otra parte , los suelos son un capital natural importante y pueden verse afectados negativamente por incendios de alta severidad. La capacidad del suelo para recuperarse de la degradación causada por el fuego , dependerá de la topografía , el clima, pH del suelo, densidad aparente , materia orgánica entre otros (Pereira et al., 2018). Por lo que, también se midieron niveles de salinidad y densidad aparente mediante la extracción de muestras de suelo correspondiente a cada uno de los sitios establecidos. El método de análisis fue mediante el uso del cilindro de densidad aparente, muestras que fueron extraídas y posteriormente enviadas al laboratorio de la facultad de Ciencias Forestales (LISAB) donde se mantuvieron 48 horas dentro del horno a 170° C para su secado y bandas indicadoras de pH para analizar el nivel de salinidad por muestra extraída.

2.3.3 Severidad de Incendio

La severidad de incendio , muchas veces ésta es difícil de abordar mediante mediciones en terreno, debido a la baja accesibilidad y gran magnitud de las áreas incendiadas, así como a la frecuencia temporal que tales mediciones requieren (Peña & Ulloa 2017).

Para el análisis de severidad de incendio, se utilizó el cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), Este es un índice diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio, presente como herramienta de geoproceso del Software ArcGIS 5.2.

Para su construcción se utilizó una fórmula ($NBR = (NBR - SWIR) / (NIR + SWIR)$) que combina el uso de longitudes de onda de infrarrojo cercano (NIR) e Infrarrojo de onda corta (SWIR). Este cálculo se realizó para dos imágenes satelitales Landsat-8, una imagen previa al periodo de incendio tomada el día 19 de marzo de 2019 (Figura 2) y una imagen post-incendio tomada el día 06 de abril de 2020 (Figura 3). Se tomó la superficie completa del Parque Nacional Nonguén como referencia. El cálculo se realizó por separado para cada una de las imágenes y luego, se procedió a realizar el cálculo de severidad de incendio definido como la diferencia entre el NBR previo y NBR posterior al incendio obtenido de las imágenes.

La fórmula está dada por

$$\Delta NBR \text{ o } dNBR = NBR_{preincendio} - NBR_{postincendio}$$

Los valores arrojados por esta fórmula indicaron valores dependiendo de la severidad del daño mientras el valor sea más alto , mayor daño. Mientras que si los valores arrojados negativos, significa un posible crecimiento vegetativo después del incendio.

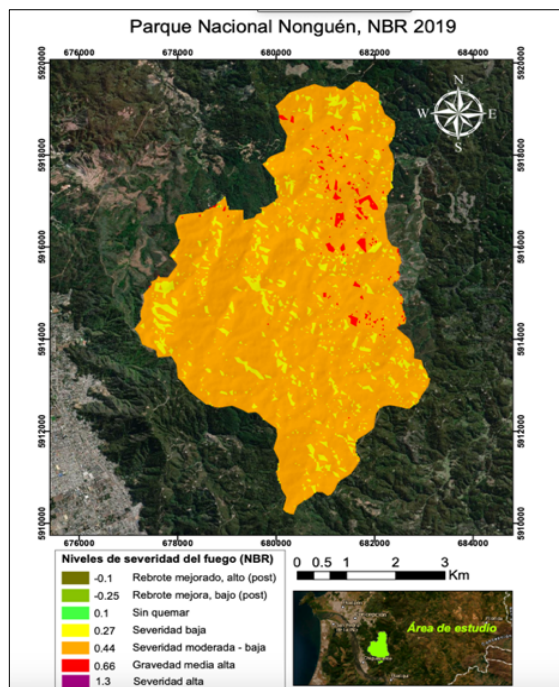


Figura 2. Mapa correspondiente al cálculo de NBR para el Parque Nacional Nonguén , año 2019 pre incendio.

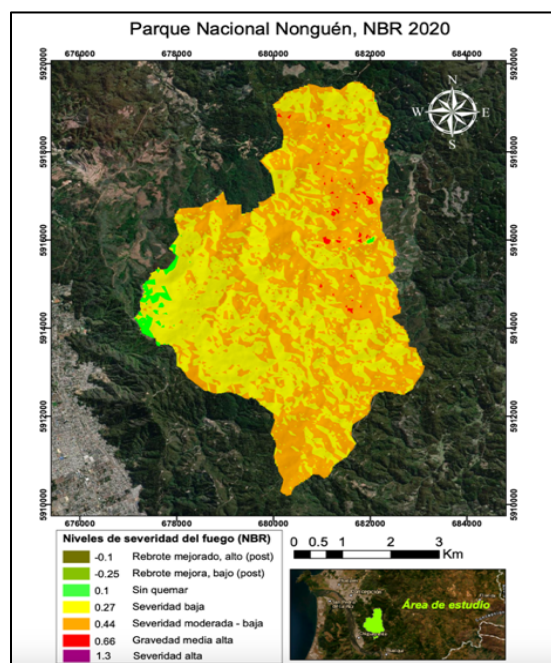


Figura 3. Mapa correspondiente al cálculo de NBR para el Parque Nacional Nonguén, año 2020 post incendio

Por otra parte, se consideró el cálculo de la cobertura de cenizas (%) depositadas en cada uno de los sitios. Mediante la superficie de cobertura aproximada por cada parcela inserta en cada sitio.

2.3.4 Invasiones Biológicas

El proceso de invasión de especies vegetativas post-incendio, requiere que las especies traspasen las barreras de dispersión en la región que se vea afectada. Son capaces de soportar las condiciones ambientales más adversas del ecosistema receptor y resisten “interactuando” con la comunidad residente, donde el proceso puede ser producido por diversos factores, como perturbaciones provocadas. Tal cual se presentó en este caso, en post a un régimen de incendios forestales.

Como principal consecuencia post-incendio se identificó el arribo de tres especies invasoras en cada uno de los sitios del área de estudio, especies como Retamilla (*Genista monspessulana*), Aromo (*Acacia melanoxylon*) y Pino (*Pinus radiata*). Para su identificación y análisis, cada uno de los sitios fue analizado mediante estrategias que sirvieron para conocer el estado de invasión y su influencia hacia el ecosistema reforestado. Algunos indicadores evaluados fue la diversidad de especies invasoras insertas en cada uno de los sitios, mediante su reconocimiento. Por otro lado, se evaluó la cantidad de individuos por especie aproximado, para eso se establecieron parcelas de 5x5m y de 15x15m, distribuidas aleatoriamente dentro de cada sitio reforestado. El proceso de contabilización de individuos por especie se clasificó en conteo por individuo en pie vivo para evaluar a Pino (*Pinus radiata*) y Aromo (*Acacia melanoxylon*). Para la evaluación de la cobertura de Retamilla (*Genista monspessulana*), se contabilizó mediante porcentaje de ocupación dentro de los límites de cada parcela. Siendo categorizados en cinco categorías. Categoría Baja (0-25%), media (25%-50%), alta (50%-75%) y muy alta (75%-100%).

2.4 Monitoreo y muestreo de parcelas

Para el análisis y muestreo de las parcelas reforestadas, se hicieron mediciones de altura (cm) de cada uno de los individuos plantados dentro de los límites establecidos en cada parcela con el uso de huincha y también se consideró medir el diámetro a la altura del cuello (DAC) con un pie de metro.

2.4.1 Creación del Índice de Perturbación

Una vez establecidos los cálculos y análisis de cada uno de los indicadores seleccionados para cada uno de los factores ambientales evaluados, cada valor arrojado se categorizó según su nivel de perturbación en rangos. El nivel N°1: Perturbación baja; Nivel N°2: Perturbación Media ; Nivel N°3: Perturbación Alta y el Nivel N°4: Perturbación muy alta. La clasificación de cada nivel, varió según el grado de mayor alteración y su nivel de influencia en el establecimiento y desarrollo de los ejemplares reforestados.

III. RESULTADOS

Los resultados de este proyecto serán presentados en cinco secciones, correspondiente a los principales factores ambientales y muestreos que se estudiaron y su influencia en la implementación de una estrategia para el monitoreo de reforestaciones en su estado inicial. Los principales factores estudiados, fueron analizados a través de algunos indicadores que influyeron directamente a los factores escogidos. Factores como el tamaño de sitios, factores biofísicos, severidad de incendio y el establecimiento de invasiones biológicas. Con el fin de cumplir con el principal objetivo del proyecto, establecer una estrategia de monitoreo para las reforestaciones en plantaciones post-incendios forestales.

3.1 Sitios de plantación y establecimiento de parcelas

Los sitios de plantación establecidos para este proyecto fueron basados en la primera etapa de reforestación en el mes de julio de 2021. Sitios que se encuentran insertos en la zona noroeste del Parque Nacional Nonguén. Para el establecimiento de los sitios se realizó una georeferenciación de los polígonos de plantación estableciendo para este proyecto ocho sitios con su superficie correspondiente. Los sitios que se instauraron comprenden de una superficie total de 3,185 hectáreas aproximadamente. Detalladamente para cada uno de los sitios se le calculó su superficie en hectáreas (Figura 4).

Para cada uno de los sitios, se establecieron diez y ocho parcelas. Tres parcelas rectangulares de 225m^2 para el sitio N°1 y parcelas cuadradas de 25m^2 para los demás sitios, distribuidas aleatoriamente para su muestreo. Para el sitio N°1, se establecieron tres parcelas de 225m^2 para una superficie de 1,75 hectáreas; en el sitio N°2, para una superficie de 0,209 hectáreas, se establecieron tres parcelas de 25m^2 ; al sitio N°3 se instauraron dos parcelas de 25m^2 con una superficie de 0,030 hectáreas; el sitio N°4 abarcó dos parcelas de 25m^2 con una superficie de 0,024 hectáreas; el sitio N°5 con una superficie de 0,083 hectáreas y una parcela en su interior; el sitio N°6 con 0,58 hectáreas y se establecieron tres parcelas de 25m^2 cada una; al sitio N°7 se establecieron tres parcelas

de 25m² para una superficie de 0,45 hectáreas y el sitio N°8 con una parcela de 25m² establecida para 0,058 hectáreas aproximadamente.

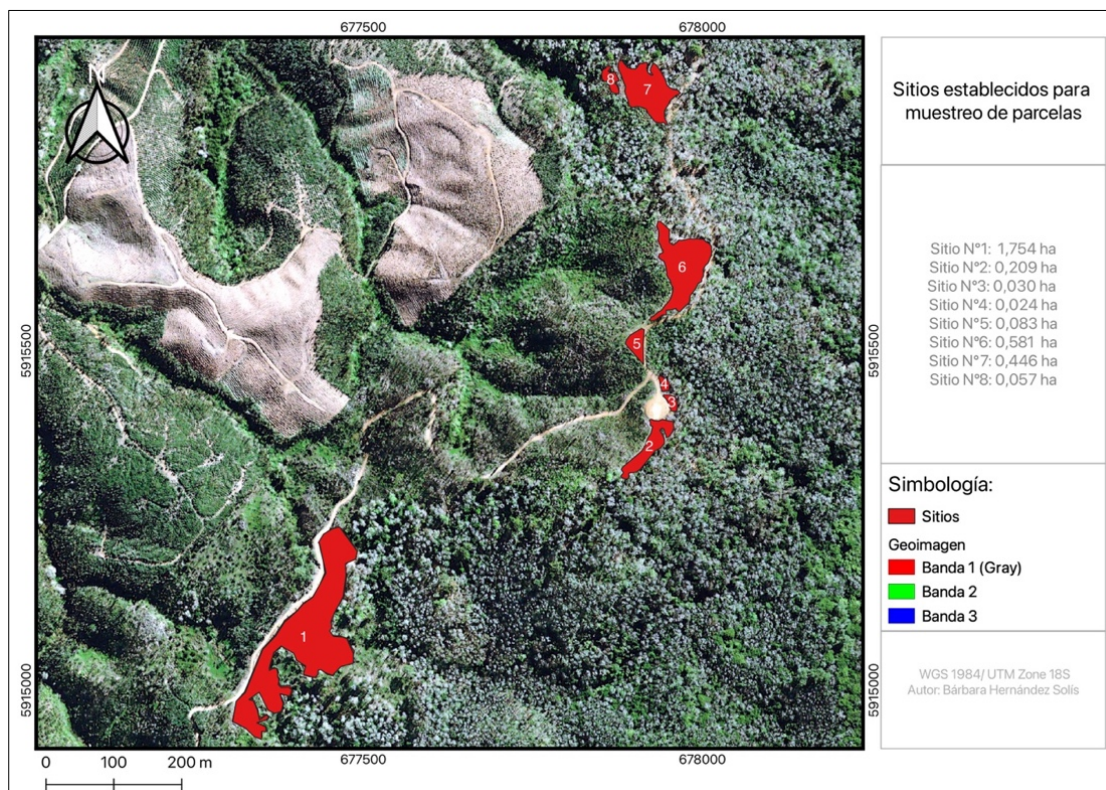


Figura 4. Sitios establecidos para la plantación año 2021, establecimiento de parcelas de muestreo y superficie (ha) correspondiente.

3.2 Factores Biofísicos

La provincia de Concepción posee un clima mediterráneo templado con influencia oceánica. A lo largo del año las temperaturas promedio dependen de la época en la que se encuentre. Durante el verano alcanza un promedio de 22°C y la época con mayor índice de humedad remontan en el periodo de junio-julio con temperaturas promedio de 13°C. Por otra parte, es importante destacar, que el regimen pluviométrico durante la temporada del incendio el verano del 2020, fue nula. En diciembre de 2019 no hubo precipitaciones y anualmente tuvo un déficit de -100 mm, según indica el Boletín Climatológico de la

DGAC. Las condiciones que se generan en el suelo y las plantas tras el déficit de agua ocasiona que las plantas respondan al estrés hídrico desarrollando adaptaciones a sus nuevas condiciones de vida, no obstante, cuando el déficit hídrico se desarrolla se dan cambios en el proceso de desarrollo que repercuten sus efectos sobre el crecimiento. Algunos de mayor importancia son la limitación de la expansión foliar, crecimiento radicular, crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Shao et al., 2008).

La incidencia del fuego provocado por el incendio ocasionó que la topografía y el suelo tuvieran cambios, el aumento de erosión en el terreno producto del paso del fuego. Por lo que una vez realizado el levantamiento de datos topográficos de cada uno de los sitios de reforestación se calculó el grado de inclinación de la pendiente expresado en rangos (Figura 5) y el nivel de exposición solar durante el día, categorizados de mayor a menor grado de exposición (Figura 6).

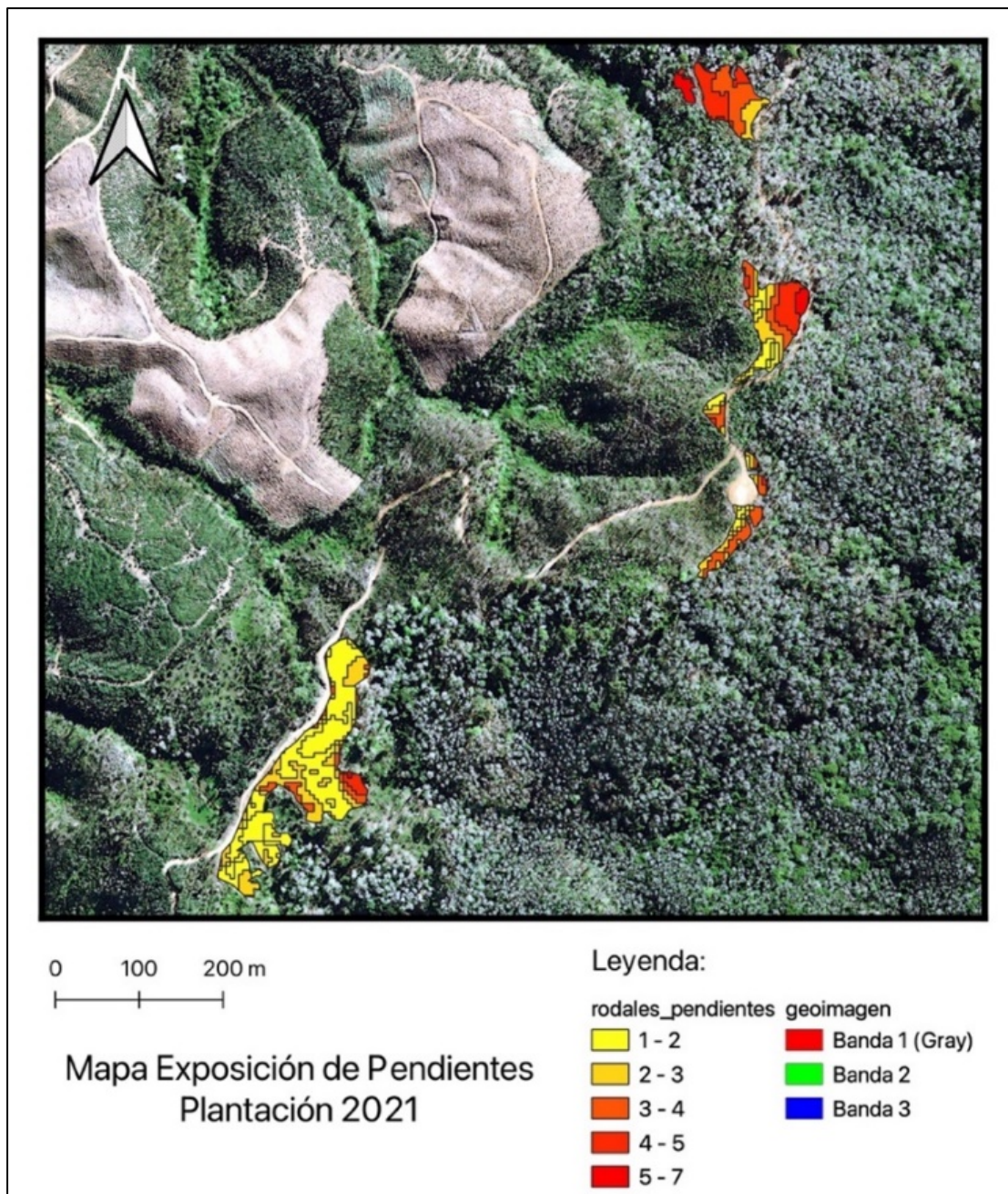


Figura 5. Inclinación de la pendiente categorizada en rangos. 1-2: Muy Baja ; 2-3: Baja ; 3-4: Media ; 4-5 Alta ; 5-7 Muy Alta.

El mapa de pendiente estableció que los sitios con mayor grado de inclinación se encuentran en las zonas con mayor altitud (350 m s.n.m.). los sitios N°6 , N°7 y N°8. Alcanzando categorías entre los rangos Medio (3-4), Alto (4-5) y Muy Alto (5-7). Por el contrario, aquellos sitios con menor rango de pendiente son aquellos que poseen menor altitud, poseen un rango de inclinación de pendiente categorizado en Muy baja (1-2) y Bajo (2-3), coincidiendo que son sitios aledaños a camino forestal y con menor cobertura arborea, en comparación a sitios que poseen un mayor rango de inclinación.

Por otra parte, la exposición solar fue uno de los principales indicadores calculados, puesto que la incidencia de los rayos del sol a lo largo del día en la zona reforestada tiene una fuerte influencia en el desarrollo y morfología de las especies vegetales, pudiendo alterar de manera considerable los periodos de floración, fructificación y semillación, afectando los ciclos ecológicos en el transcurso del tiempo (Rousseaux *et al.* 2001).

El mapa de exposición solar fue creado mediante la categorización de la exposición solar en cada uno de los sitios (Figura 6) .

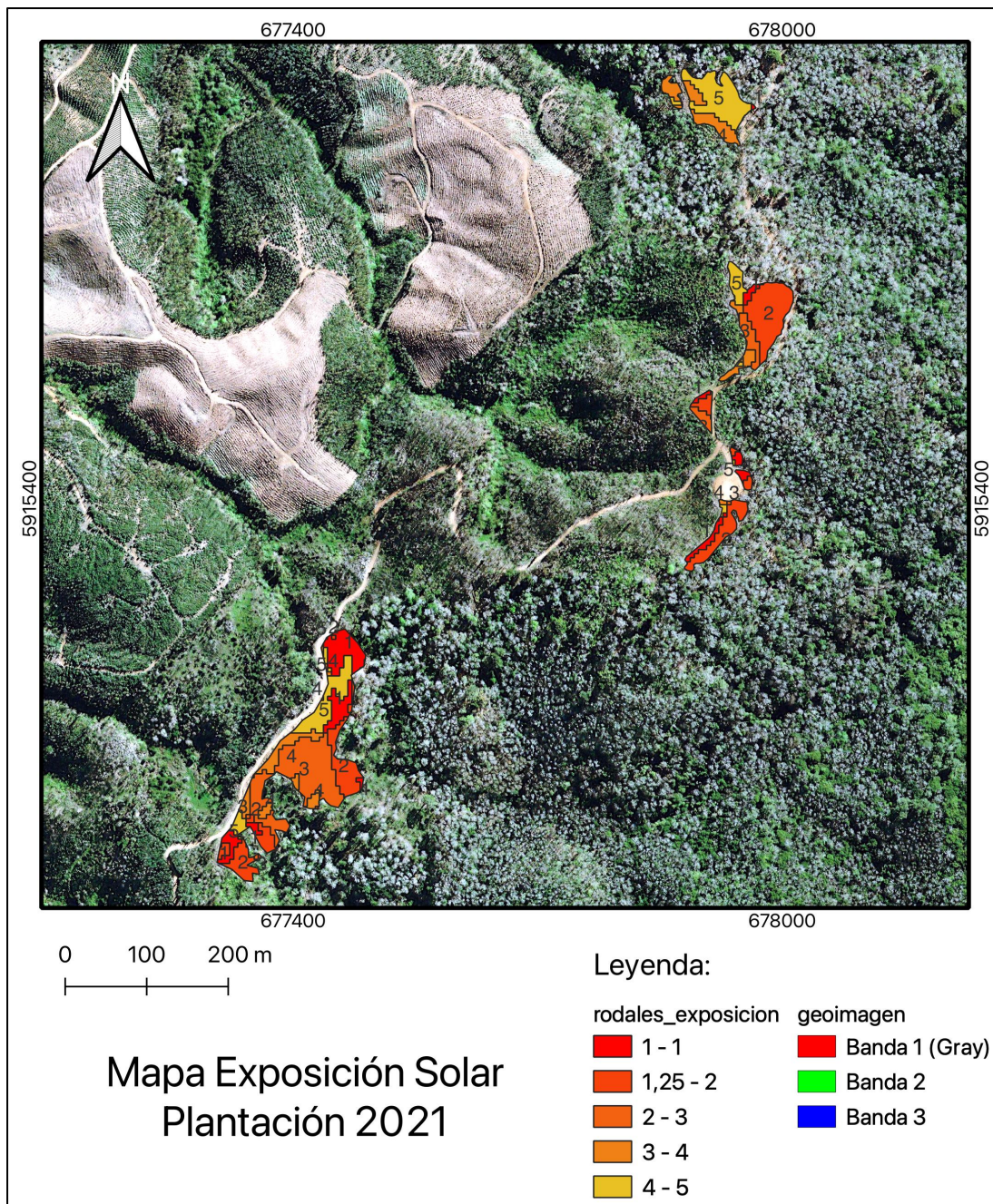


Figura 6. Los rangos de Exposición Solar categorizados en rangos de mayor a menor grado de exposición. Muy alta (1-1); Alta (1,25-2); Media Alta (2-3); Media (3-4) y Baja (4-5).

La exposición solar fue categorizada para cada uno de los sitios establecidos. Los sitios con mayor exposición solar durante el día, son aquellos que poseen poca cobertura arbórea producto del régimen de incendios previos. Los sitios que presentaron mayor exposición solar durante el día fueron el sitio N°1, N°2, N°3 y N°4.

Por otra parte, las capacidades del suelo en post de un régimen de incendios forestales se modifican, se produce una pérdida en la cubierta vegetal, materia orgánica, altos niveles de erosión, dependiendo de la intensidad de fuego y la duración del fuego. Por lo que los indicadores que serán analizados son simples de aplicación e interpretación, puesto que es difícil mantener una relación lineal entre los indicadores evaluados y la función del suelo (Muñoz-Rojas, 2018).

Uno de los indicadores evaluados fue el análisis de pH del suelo. Puesto que, posterior a un episodio de un incendio normalmente la acidez del suelo disminuye. Esto se debe a la destrucción de ácidos orgánicos y el aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas. También es importante destacar que cuando la intensidad del incendio es alta y se produce una gran combustión de materia orgánica, el pH del suelo disminuye aún más (De Celis *et al.* 2018). Específicamente para las muestras tomadas en las parcelas establecidas aleatoriamente dentro de los límites de los sitios la influencia de los niveles de salinidad en las parcelas de reforestación arrojaron que la mayor parte del terreno muestreado tienen un pH promedio de 4,6 categorizado como un suelo fuertemente ácido, en la escala de salinidad de suelos. Las muestras de pH, fueron establecidas para cada una de las parcelas (Tabla 2) manteniendo un rango entre pH: 3-5,5. Por lo que se puede inferir que según estos valores analizados, es un suelo con una salinidad baja. Por lo tanto también se deduce que producto de la salinidad, los plantones no tuvieron un buen enraizamiento.

Tabla 2. Valores de Salinidad en muestras de suelo.

Rotulado muestra	Valor pH	Categoría Salinidad
S1-P1-D1	3	Extremadamente ácido
S1-P2-D1	5	Fuertemente ácido
S1-P3-D1	5	Fuertemente ácido
S2-P1-D1	3,5	Extremadamente ácido
S2-P2-D1	4,5	Fuertemente ácido
S2-P3-D1	5	Fuertemente ácido
S3-P1-D1	4,5	Fuertemente ácido
S3-P2-D1	4,5	Fuertemente ácido
S4-P1-D1	5,5	Moderadamente ácido
S4-P2-D1	5,5	Moderadamente ácido
S5-P1-D1	5	Fuertemente ácido
S6-P1-D1	4,5	Fuertemente ácido
S6-P2-D1	4,5	Fuertemente ácido
S6-P3-D1	4,5	Fuertemente ácido
S7-P1-D1	4,5	Fuertemente ácido
S7-P2-D1	5,5	Moderadamente ácido
S7-P3-D1	4,5	Fuertemente ácido
S8-P1-D1	4,5	Fuertemente ácido

Por otra parte, otro de los indicadores importantes que se ven afectados por grandes intensidades del fuego al momento de un régimen de incendios, es la densidad aparente. Esta, es definida como la masa de suelo por unidad de volumen. Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller&Hakansson 2010).

El resultado del análisis de las muestras de suelo recolectadas desde las parcelas establecidas por cada sitio de plantación, se estimó un promedio de densidad aparente de $0,764 \text{ g/cm}^3$. en donde el rango entre todas las muestras fue desde un valor de $0,612 \text{ g/cm}^3$ y $0,888 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 3), valores bajos considerando la densidad aparente óptima para un suelo de compactación idónea para el establecimiento de raíces y retención de humedad. Estos valores se caracterizan por ser propios de un suelo con una menor cantidad de materia orgánica y un mayor % de arena. Algunos autores, proponen como densidades aparentes óptimas para el crecimiento de las raíces de una amplia gama de cultivos, valores de $1,50$; y $1,60 \text{ g/cm}^3$ (Carrasco *et al.* 2018).

Por otra parte, otro de los indicadores importantes que se ven afectados por grandes intensidades del fuego al momento de un régimen de incendios, es la densidad aparente. Esta , fue definida como la masa de suelo por unidad de volumen. Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller&Hakansson 2010).

El resultado del análisis de las muestras de suelo recolectadas desde las parcelas establecidas por cada sitio de plantación, se estimó un promedio de densidad aparente de $0,764 \text{ g/cm}^3$. en donde el rango entre todas las muestras fue desde un valor de $0,612 \text{ g/cm}^3$ y $0,888 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 3) , valores bajos considerando la densidad aparente óptima para un suelo de compactación idónea para el establecimiento de raíces y retención de humedad. Estos valores se caracterizan por ser propios de un suelo con una menor cantidad de materia orgánica y un mayor % de arena.

3.3 Severidad de Incendio

La severidad de incendio fue un indicador que se consideró, puesto que es una métrica que permitió analizar el impacto de la intensidad del fuego que pasó por los sitios de plantación del área de estudio. Para esto se consideró el análisis de imágenes satelitales (Landsat 8) correspondientes a condiciones previas al incendio y en post a este.

Mediante el cálculo de NBR (Normalized Burn Ratio). El procesamiento de ambas imágenes resultó un mapa que representa los niveles de severidad que se alcanzó posterior al régimen de incendios. Los niveles de severidad alcanzados se categorizaron en siete niveles, desde el nivel más bajo de “daño”, hasta el valor cuyo intensidad de incendio fue más fuerte y ocasionó mayor destrozo. Estos fueron clasificados en; Rebrote mejorado alto (post) (-0,1); Rebrote mejorado bajo (-0,25); Sin quemar (0,1); Severidad baja (0,27); Severidad moderada – baja (0,44); Gravedad media alta (0,66) y Severidad alta (1,3). (Figura 7). El análisis se estableció para toda la superficie del Parque Nacional Nonguén, sin embargo, se especificó en el área de estudio por la fecha de extracción de las imágenes satelitales. Para el área de estudio, se pudo observar que los sitios establecidos fueron afectados con distintos niveles de severidad. Desde una severidad baja (0,27) hacia una severidad moderada baja (0,44) y gravedad media alta (0,66).

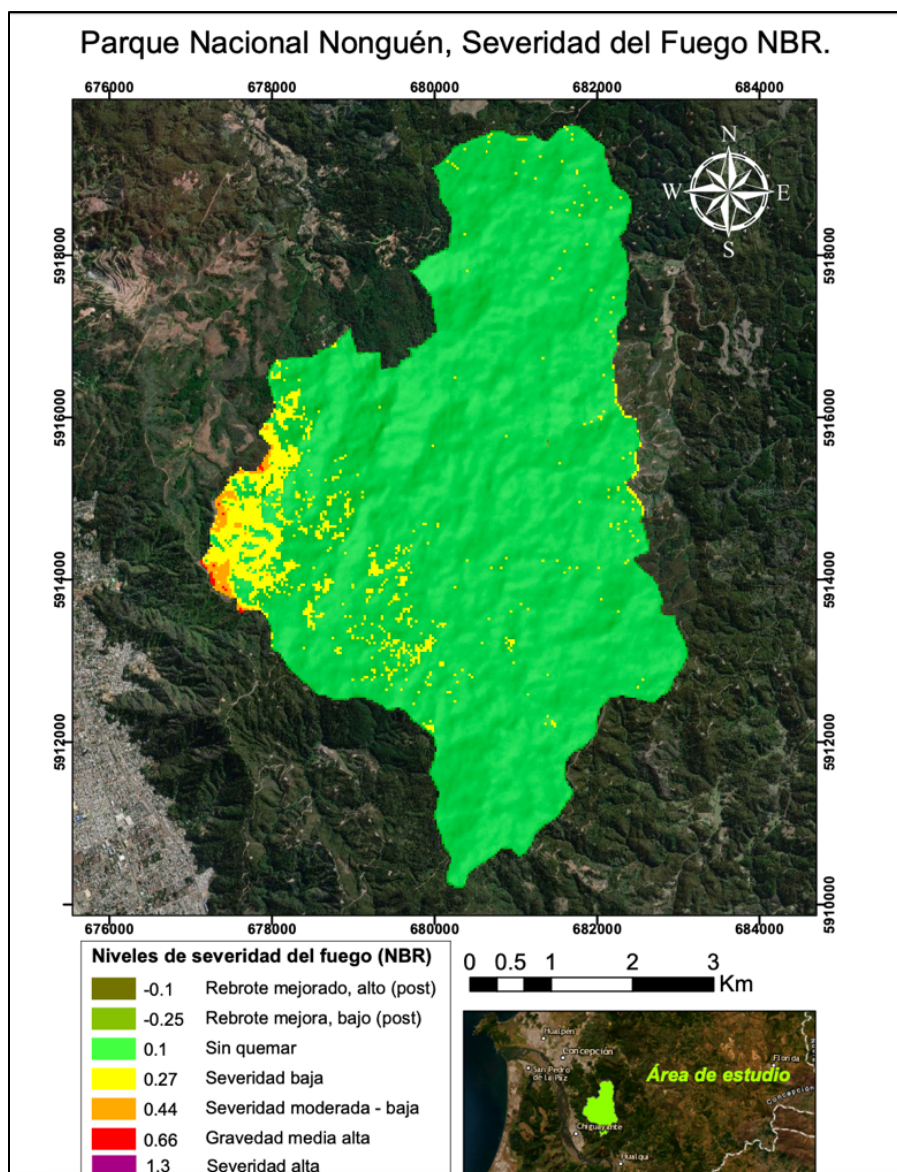


Figura 7. Niveles de severidad del fuego, post incendio forestal Parque Nacional Nonguén.

Por otra parte, el paso del fuego por el área de estudio dejó los sitios plantados con una cobertura de cenizas en el suelo. Para el análisis de la cobertura de ceniza se estableció un porcentaje de cobertura aproximado por cada parcela establecida. Para esto se categorizó en cinco rangos (%) de cobertura por parcela. Los rangos fueron; cobertura baja 10-20%; cobertura media 30-40%; cobertura moderada 50-60%; cobertura alta 70-80% y cobertura

muy alta 90-100%. Por consiguiente, se construyó la siguiente tabla resumen de la superficie afectada por cenizas en cada parcela.

Tabla 3. Superficie cubierta de cenizas por parcela

Sitio / Parcela	Superficie con ceniza (%)
S1P1	10-20%
S1P2	30-40%
S1P3	30-40%
S2P1	50-60%
S2P2	50-60%
S2P3	50-60%
S3P1	10-20%
S3P2	30-40%
S4P1	10-20%
S4P2	30-40%
S5P1	10-20%
S6P1	10-20%
S6P2	10-20%
S6P3	10-20%
S7P1	10-20%
S7P2	10-20%
S7P3	10-20%
S8P1	10-20%

3.4 Invasiones Biológicas

La llegada de las especies exóticas, fue ocasionada producto del fuerte deterioro del hábitat del área de estudio producto del régimen de incendios de enero de 2020. Por esto, se produjo una avanzada propagación y establecimiento de especies invasoras como la Retamilla (*Genista monspessulana*), Aromo (*Acacia melanoxylon*) y Pino radiata (*Pinus*

radiata) en los sitios de reforestación. Para su análisis se realizó una estimación de “invasión por parcela” mediante el cálculo de la superficie (%) afectada por cada especie.

Dentro de los límites establecidos para el área de estudio, a cada uno de los sitios le afectó una especie diferente y en diferente superficie afectada. En la tabla 5 se estimó la superficie afectada por alguna especie invasora dentro de las parcelas establecidas. Para la especie de retamilla (*G. monspessulana*), se consideró la superficie afectada en porcentaje (%) y para las especies de Aromo (*A. melanoxydon*) y Pino radiata (*P. radiata*), se contabilizaron individualmente. El mayor porcentaje de cobertura por parcela fue la especie de retamilla (*G. monspessulana*), alcanzando el 100% de cobertura, con ejemplares mayor a dos metros de altura, cubriendo los ejemplares reforestados recientemente. Los sitios más afectados por dicha especie fueron los sitios N°4 y N°7. Para la especie de Aromo (*A. melanoxydon*), los sitios más afectados fueron los N°2 y N3, con ejemplares que alcanzaban una altitud mayor a dos metros. Por el contrario, la especie que menos propagación ha establecido es el Pino radiata (*P. radiata*), afectando mayoritariamente solo al sitio N°7.

Tabla 4. Superficie de invasiones biológicas por parcela

Sitio/Parcela	Retamilla (<i>G. monspessulana</i>)	Aromo (<i>A. melanoxydon</i>)	Pino radiata (<i>P. radiata</i>)
S1P1	10-20%	0	1
S1P2	10-20%	0	0
S1P3	10-20%	45	0
S2P1	10-20%	50	1
S2P2	10-20%	50	1
S2P3	10-20%	50	1
S3P1	10-20%	40	1
S3P2	10-20%	60	2
S4P1	70-80%	45	0

S4P2	50-60%	34	0
S5P1	70-80%	0	0
S6P1	30-40%	0	0
S6P2	30-40%	0	0
S6P3	10-20%	0	0
S7P1	90-100%	40	15
S7P2	90-100%	15	4
S7P3	90-100%	30	4
S8P1	50-60%	5	3

3.5 Índice de Perturbación

El índice de perturbación creado, se basó específicamente en el grado de perturbación que ve afectada la recuperación inicial de vegetación posterior a un régimen de incendios forestales. La construcción de la tabla se categorizó en cuatro niveles, según el grado de perturbación en la que el área de estudio este siendo afectada. Estos fueron enumerados de uno a cuatro, a medida que aumente el nivel , aumenta el grado de perturbación. El Nivel N°1: Perturbación baja, es el nivel más bajo de gravedad. Puesto que , el ecosistema presenta condiciones bióticas y/o abióticas propicias para el establecimiento y desarrollo de las especies vegetales que se puedan regenerar naturalmente en un futuro próximo. Por otra parte el Nivel N°4: Perturbación Muy Alta. Es aquel que posee un grado de perturbación muy alta. Donde las condiciones del ecosistema se vieron fuertemente perturbadas y el cambio en sus procesos ecológicos ocasionó fuertes modificaciones en el desarrollo de las especies vegetales, ya sea por su pérdida de biodiversidad, cambios edafológicos y topográficos del lugar, lo que puede conllevar a un futuro no exitoso en los proyectos de recuperación de vegetación.

Tabla 5. Niveles de perturbación asociados a rangos estimados de los indicadores evaluados para la creación del índice de perturbación.

Factores e Indicadores	Nivel 1: Perturbación Baja	Nivel 2: Perturbación Media	Nivel 3: Perturbación Alta	Nivel 4: Perturbación Muy Alta
Condición de Sitio				
Tamaño Sitio	0 - 0,5 ha	0,5 - 1,0 ha	1,0 - 1,5 ha	1,5 - 2,0 ha
Crecimiento	30-40%	20-30%	10-20%	0-10%
Factores Biofísicos				
pH	5,5 – 7	4 - 5,5	2,5 – 4	1-2,5
Densidad aparente	0,7 – 1,0 g/cm ³	1,0 – 1,3 g/cm ³	1,3 - 1,6 g/cm ³	>1,6 g/cm ³
Exposición solar	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Pendiente	Muy Baja-Baja	Media	Alta	Muy Alta
Severidad de Incendio				
Severidad (NBR)	Sin Quemar	Baja	Moderada baja	Gravedad muy alta /Severidad alta
Cobertura de Cenizas	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Invasiones Biológicas				
Cobertura Invasión	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%

Tras la creación de este índice de perturbación, se pudo establecer cuáles son las condiciones de cada uno de los sitios reforestados que se trabajaron en este proyecto.

Según la clasificación de la tabla previa, el Sitio N°1 y el Sitio N°2 se encuentran en un Nivel con perturbación media y alta. Esto se condiciona producto que presenta suelos totalmente descubiertos, una plantación que está inserta en la tala ilegal de leña por parte de personas y una fuerte exposición solar durante todo el día. El mayor porcentaje de

invasión biológica se encuentra en el sitio N°2, con más de un 80% de superficie cubierta por especies de Aromo (*A.melanoxylon*), con ejemplares mayores a 2 m de altura. Por el contrario, los sitios N°6 y N°7 (Perturbación media – baja), reflejan los mayores índices de crecimiento longitudinal y diámetro que todos los demás sitios. Poseen una exposición solar baja y media (alta solo en un sector). Puesto que los ejemplares plantados para la primera etapa de reforestación, están creciendo bajo dosel de árboles en pie y boscosidad, por eso mantienen una mayor retención de humedad en el suelo. El sitio N°6, casi no es afectado por especies invasoras alcanzando el 30% y en el sitio N°7, se encuentra con más un 80% de cobertura de Retamilla (*G. monspessulana*), con individuos mayor a 2m de altura.

3.6 Análisis de Supervivencia

De tal manera que el análisis de supervivencia para los individuos plantados por parte de Fundación Reforestemos, después de diez y ocho meses de su plantación, los datos arrojados por los estudios realizados establecieron que los individuos muestreados fueron doscientos cincuenta y cinco, en diez y ocho parcelas establecidas aleatoriamente en ocho sitios de reforestación para un total de 3,18 ha. Se analizaron individuos de cuatro especies nativas diferentes, correspondientes a Quillay (*Q. saponaria*), Roble (*N. obliqua*), Maqui (*A. chilensis*) y Peumo (*C. alba*). El levantamiento de datos en terreno arrojó los siguientes datos, detallados para cada una de las parcelas muestreadas, donde se consideró la altura promedio por parcela de los ejemplares (cm), el promedio del diámetro a la altura del cuello (mm) y la superficie de cada parcela (m²) en conjunto con la superficie de cada sitio. El promedio de la parcela que representó mayor altura (cm) y promedio de DAC (mm), recayó en el sitio N°6; parcela N°2, con un promedio de 114,375 cm de altura promedio y en el mismo sitio y la parcela N°1 presentó DAC (mm) de 8,865 mm. Por el contrario, los valores promedio más bajos, se establecieron en el sitio N°2; parcela N°3 con un promedio de 27,71 cm de altura y 2,44 mm de DAC.

Tabla 6. Promedio de altura y DAC para individuos por parcela de 225m² y 25m²

Sitio/Parcela	Promedio altura (cm)	Promedio DAC (mm)
S1-P1	34,61	5,06
S1-P2	28,39	3,94
S1-P3	44,08	6,82
S2-P1	74,00	4,54
S2-P2	35,78	3,56
S2-P3	27,71	2,44
S3-P1	48,00	5,40
S3-P2	62,00	5,00
S4-P1	70,42	5,88
S4-P2	51,42	3,38
S5-P1	45,83	4,16
S6-P1	99,42	8,87
S6-P2	114,38	6,50
S6-P3	99,85	7,90
S7P1	81,67	7,87
S7P2	54,71	4,24
S7P3	95,16	8,58
S8P1	71,79	5,29

La especie con mayor cantidad de individuos plantados vivos fue *Cryptocarya alba* con ciento cincuenta y nueve ejemplares, sin embargo aquella especie que representó una mayor altitud (cm) y DAC (mm) fue *Aristotelia chilensis*, con una altura de 125,26 cm y 8,77 mm de DAC (Tabla 7). Alcanzando una superficie correspondiente al 1,9%, respecto de la cantidad total de individuos plantados inicialmente, en una superficie total de 3,18 hectáreas establecidas para este proyecto.

Tabla 7. Cantidad de individuos muestreados, Promedio de altura y DAC de individuos monitoreados en diciembre de 2022

Especie	Promedio altura (cm)	Promedio DAC (mm)
<i>Quillaja saponaria</i>	32,22	3,66
<i>Nothofagus obliqua</i>	46,22	6,26
<i>Aristotelia chilensis</i>	125,26	8,77
<i>Cryptocarya alba</i>	70,43	5,96

También, fue necesario establecer una estimación correspondiente a la cantidad de individuos plantados vivos, respecto a la estimación original de plantación por parte de Fundación Reforestemos. Para la especie de Quillay, se estimó una cantidad del 55%, respecto al total de plantas reforestadas, con aproximadamente 4400 plantas. El Roble, el maqui y el peumo alcanzaron la cantidad del 15% cada uno, con 1200 ejemplares aproximado, por especie (Total: 8000 plantas).

Por otra parte, la Fundación Reforestemos realizó un monitoreo a las reforestaciones en diciembre de 2021. Donde principalmente se evaluó la supervivencia de los individuos plantados en julio del mismo año. Para el monitoreo se establecieron seis parcelas en donde se estimó la altura (cm), el DAC (mm) y la cantidad de individuos vivos. Los datos arrojados (Tabla 8) dieron cuenta que la parcela con individuos con mayor promedio de altura es la parcela N°4, con un promedio de 66,68 cm de sus ejemplares y la parcela N°1 con un DAC promedio de 5,84 mm todo esto para un total de 143 individuos muestreados. Correspondientes al 1,78% de la cantidad total de plantas reforestadas en una superficie total establecida por la Fundación Reforestemos de 3,51 hectáreas.

Tabla 8. Promedio de altura (cm) y DAC (mm) de individuos monitoreados en diciembre de 2021. (Fundación Reforestemos)

Sitio/Parcela	Promedio altura (cm)	Promedio DAC (mm)
1	65,00	5,84
2	57,38	5,23
3	46,43	4,80
4	66,68	5,53
5	58,32	5,14
6	49,57	4,80

También, se realizó un análisis respecto a la cantidad de individuos por especie que se monitorearon seis meses después de la fecha de plantación. Para esto, el análisis arrojó que la especie que mantenía una mayor altura (cm), fue el Roble (*N. obliqua*) con un promedio de 71,213 cm de altura y un DAC de 6,163 mm. siendo también, la especie con mayor cantidad de individuos muestreados (Tabla 9).

Tabla 9. Cantidad de individuos muestreados por especie , Promedio de altura y DAC de individuos monitoreados en diciembre de 2021. (Fundación Reforestemos).

Especie	Individuo	Altura (cm)	DAC (mm)
<i>Aristotelia chilensis</i>	28,00	40,74	4,28
<i>Cryptocarya alba</i>	18,00	41,12	3,98
<i>Nothofagus obliqua</i>	76,00	71,21	6,16
<i>Quillaja saponaria</i>	17,00	40,94	4,23

Por otra parte , también es necesario mencionar aquellos individuos que presentaron menor supervivencia dentro de cada uno de los sitios establecidos, la diferencia entre las condiciones de sitio para el monitoreo de diciembre del año 2022. para los 256 individuos

muestreados en los ocho sitios de reforestación la especie que menos supervivencia alcanzó, fue el Maqui (*Aristotelia chilensis*), alcanzando un 7,0% de individuos muestreados y el Quillay (*Quillaja saponaria*) con un 13% (Figura 8). por lo que, específicamente la menor supervivencia por sitio detalladamente se encuentra el sitio N°3 con 16 ejemplares vivos y el sitio N°5, con 12 ejemplares vivos (Tabla 10). No obstante, es importante destacar que según el nivel de perturbación presente en los sitios de reforestación, los sitios N°1 y N°2 fueron aquellos que mayor perturbación se encuentran post al régimen de incendios ocasionados, por lo que, también son aquellos fragmentos que se encuentran con menor promedio (%) en su crecimiento y un menor porcentaje (%) de supervivencia entre los ocho sitios muestreados. el sitio N°1 alcanza una superficie reforestada correspondiente al 3,85% respecto a la superficie total plantada y el sitio N°2 alcanza una superficie total de 3,57% respecto a su superficie total.

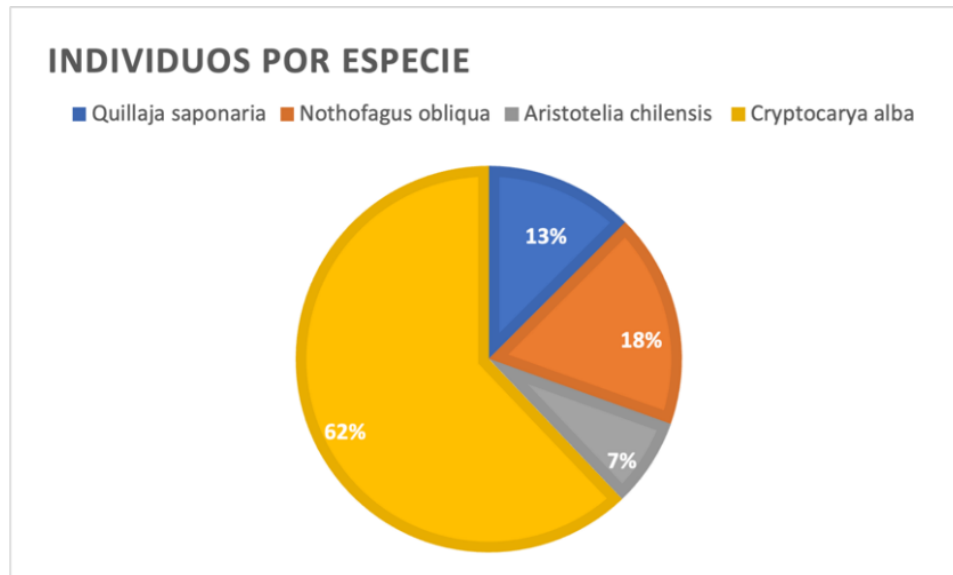


Figura 8. Gráfico de porcentajes (%) correspondiente a individuos por especie del total muestreado

Tabla 10. Supervivencia de individuos por sitio reforestado

Sitio	Especie	Individuos vivos
Sitio N°1	<i>Cryptocarya alba</i>	0
	<i>Quillaja saponaria</i>	18
	<i>Nothofagus obliqua</i>	42
	<i>Aristotelia chilensis</i>	0
Sitio N°2	<i>Cryptocarya alba</i>	24
	<i>Quillaja saponaria</i>	0
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	2
Sitio N°3	<i>Cryptocarya alba</i>	14
	<i>Quillaja saponaria</i>	0
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	2
Sitio N°4	<i>Cryptocarya alba</i>	21
	<i>Quillaja saponaria</i>	0
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	2
Sitio N°5	<i>Cryptocarya alba</i>	12
	<i>Quillaja saponaria</i>	0
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	0
Sitio N°6	<i>Cryptocarya alba</i>	42
	<i>Quillaja saponaria</i>	0
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	12
Sitio N°7	<i>Cryptocarya alba</i>	40
	<i>Quillaja saponaria</i>	9
	<i>Nothofagus obliqua</i>	2
	<i>Aristotelia chilensis</i>	0
Sitio N°8	<i>Cryptocarya alba</i>	9
	<i>Quillaja saponaria</i>	5
	<i>Nothofagus obliqua</i>	0
	<i>Aristotelia chilensis</i>	0

IV. DISCUSIÓN

En Chile, los estudios de incendios forestales muestran un notable incremento en el número de incendios a partir de la década de los 70' (Díaz-Hormazábal & González, 2016). Por lo que, la alta frecuencia de incendios los últimos años han pasado a ser parte de la dinámica ecosistémica de los bosques. Es por esto que los proyectos de reforestación son un pilar fundamental para el proceso de recuperación de la estructura del bosque perturbado. Sin embargo, en este tipo de proyectos existe un N° reducido de reforestaciones con especies nativas y un número aún más reducido se ha realizado con bases ecológicas (Rojas Barria 2018). A lo anterior se suma que, en ambientes mediterráneos la sequía estival provoca estrés hídrico, causando una masiva mortalidad en plántulas naturales y sobre plantones usados en las reforestaciones (Hernández & Vita 2004). Debido a que solo existe información teórica sobre nucleación y dinámica post-incendio en la zona matorral. No se ha encontrado publicaciones relacionadas con la implementación y evaluación de métodos de reforestación (Rojas Barría 2018).

3.7 Evaluación y Análisis de los factores ambientales para la creación del Índice de Perturbación

La interpretación de datos para los distintos factores ambientales estudiados para la creación del índice de perturbación fueron basados en el tamaño de sitio, factores biofísicos, severidad de incendio e invasiones biológicas. Para la evaluación de cuatro especies nativas reforestadas en la superficie perturbada por el régimen de incendios.

Los resultados de la toma de muestras de cada sitio con diez y ocho parcelas en total. Demostraron que el paso del fuego no afectó con la misma intensidad en toda el área de estudio. Por lo que, los indicadores escogidos y técnicas utilizadas fueron de tal importancia para el establecimiento y desarrollo de los ejemplares plantados y su dinámica en los procesos ecológicos.

Cada uno de los resultados de la evaluación de los factores ambientales son interpretados de manera individual, basándose en la aplicación de distintas técnicas de muestreo y estudios que fueron aplicados para cada sitio. Así mismo, luego asociar sus resultados y crear el índice de perturbación.

3.7.1 Tamaño de sitio

Es importante destacar que los ocho sitios establecidos y sus parcelas fueron creadas y consideradas para este proyecto. Puesto que, como datos base el proyecto de reforestación consideró originalmente seis sitios para una superficie de 3,51 ha y para este caso de estudio la superficie aproximada de consideración es de 3,18 ha distribuidas en 8 sitios. Esto para proporcionar de mejor manera la metodología de estudio y trabajo de terreno. El tamaño de los sitios fue calculado y demostrada en sitios de diferentes superficies, siendo el sitio N°1 el que posee mayor superficie y el sitio N°5, aquel con menor sup.

3.7.2 Factores Biofísicos

La zona central de Chile posee una alta diversidad vegetacional. Sin embargo, las condiciones de la vegetación varían en cuanto a la función de altitud, longitud y topografía (Altamirano 2008). Además, los incendios son un factor determinante en la composición de la vegetación de un ecosistema. La cual responde de una manera diferente frente a los episodios del fuego. Según la topografía del área afectada, la intensidad de disturbio, época del año, condiciones meteorológicas anteriores y posteriores, tamaño de plantas, entre otros (Fernández *et al.* 2010).

Los resultados de los indicadores para la variable biofísica demostraron que producto de la temporada de escasez hídrica, esta pudo favorecer las condiciones de propagación del incendio, así mismo, las condiciones de suelo se ven alteradas. Tras el paso del fuego la composición química y física del suelo se ve afectada en cuanto a sus niveles de acidez, producto de que los valores de pH son altos, no obstante, es importante destacar que las muestras de suelo extraídas son de diciembre de 2022, aproximadamente dos años posterior a la ocurrencia del incendio. Por lo que el pH pudo haber disminuido con el

lavado de cenizas producto de la precipitación y el viento, también porque su efecto suele ser temporal, por un par de años y regresa a la condición previa al incendio (Knoepp *et al.* 2005).

Las condiciones que se generan tras la fuerte exposición solar, la falta de cubierta vegetal y el déficit de materia orgánica son precursores para que la densidad aparente arroje valores de esta categoría. Ante las condiciones idóneas para el óptimo desarrollo de los plantones reforestados. Es importante considerar que además la parte superficial del suelo fue sometida previamente a labores de labranza con maquinaria pesada, puesto que el terreno del área de estudio atraviesa una fuerte escasez hídrica por la falta de precipitaciones y la poca cercanía hacia la fuente de agua afluyente del estero más cercano. Entonces, la mayoría de los sitios están propensos a los altos niveles de erosión. Favorecido también por los suelos de textura franco arcillosa en la superficie. Los suelos del área proceden principalmente de la disgregación y alteración de rocas metamórficas e intrusivas, generando un alto contenido de arcillas, por ende son poco permeables favoreciendo la escorrentía superficial y la erosión lineal (Oyarzún *et al.* 2010).

3.7.3 Severidad de Incendio

La observación remota proporciona información con una gran cobertura espacial de forma rápida y continuada (Patterson & Yool 1998). La evaluación en la teledetección basada en el espectro óptico es considerada una técnica adecuada para el estudio de la severidad del fuego, ya que el proceso de combustión supone cambios en la reflectividad superficial asociado a la eliminación de la vegetación, la exposición del suelo, los cambios en el contenido de humedad y la aparición de nuevas cubiertas (Montorio *et al.* 2014).

El índice utilizado en este estudio es el Normalized Burn Ratio (NBR), porque ha sido el índice espectral más utilizado, puesto que comparativamente mejora los resultados obtenidos por otros índices.

Los resultados del cálculo del NBR en este proyecto, son basados en imágenes espectrales previas al incendio en diciembre de 2019 y posterior al incendio en marzo de 2020. La aplicación del índice arrojó que el incendio ocasionado provocó que los sitios establecidos fueran afectados con algún grado de severidad. Los niveles de severidad que arrojó el cálculo del índice, se categorizaron entre severidad baja y severidad media alta. Lo que indica que la intensidad del fuego fue mayor en los sitios que están más cercanos a la periurbe a Chiguayante y a caminos de uso forestal. Además, es importante considerar que producto de la temporada en la que fue ocasionado el incendio, el impacto que produce en el suelo es mayor en comparación a otra época estacional. Ello significa mayor impacto en el suelo y en la vegetación tras la alta superficie cubierta de matorral que abunda en verano. Sin embargo, los incendios ocasionados en verano tienden a disminuir la carga combustible y aumentar la heterogeneidad de la estructura, donde se reduce la Temperatura y la duración del calor y su variabilidad aumenta, lo que significa que habrá posiciones más afectadas y otras donde la intensidad del fuego será menor, la degradación también menor y la regeneración podría verse favorecida (Molina & Llinares 2000).

3.7.4 Invasiones Biológicas

Posterior al régimen de incendios, el alcance que poseen los invasores biológico puede ser muy alto. Puesto que tienen la capacidad de establecerse en nuevas áreas en las cuales se proliferan, distribuyen y persisten en el detrimento de especies y ecosistemas nativos (Mack *et al.* 2000).

La superficie que afectó a los sitios establecidos fue alta. El arribo de invasores recae en tres especies altamente invasivas, *G. monspessulana*, *A. melanoxylon* y *P. radiata*. La distribución de estas no fue la misma en toda el área de estudio. En algunos sitios solo se encontró *A. melanoxylon*, con una superficie mayor al 80% de recubrimiento, al igual de *G. monspessulana* en otros sitios. esta última tiene la capacidad de aumentar la germinación de sus semillas cuando estas son sometidas a altas temperaturas.

Las especies cuya germinación es estimulada por el calor son frecuentes en todas las zonas de matorral de clima mediterráneo que están regularmente expuestas a la renovación de la vegetación por parte del fuego (García *et al.* 2010). En Chile, la dinámica de regeneración de *T. monspessulana* y su relación con la ocurrencia de perturbaciones ha sido poco estudiada, pero la evidencia empírica demuestra que esta está fuertemente ligada a incendios forestales (Pauchard *et al.* 2008).

3.8 Índice de Perturbación

Los resultados para el Índice de Perturbación fueron basados en el análisis de diversos factores ambientales que repercuten directamente con el establecimiento y desarrollo de los ejemplares plantados. Dos años después de la plantación tras el levantamiento de datos en los sitios empleados para la reforestación, se pudo asociar el como afectan diversos indicadores ambientales y categorizarlos en niveles de menor a mayor perturbación. El índice que se pudo crear se basó en cuatro niveles de perturbación con algunas variables a categorizar como el tamaño de sitio, crecimiento entre ejemplares, el pH, Exposición solar, Pendiente, Severidad de Incendio, Invasiones Biológicas, etc. El nivel N°1 es aquel con menor grado de perturbación (Perturbación baja); Nivel N°2: Perturbación media; Nivel N°3: Perturbación alta y Nivel N°4 Perturbación muy alta.

Esta herramienta nombrada como índice de perturbación, es una estrategia que intenta asociar diversos indicadores ambientales que se vean involucrados en el desarrollo de las plantas en terrenos que fueron perturbados por incendios forestales, idealmente puede ser utilizada como una estrategia de monitoreo para plantaciones recientes. Sobre todo, cuando la plantación alberga especies nativas, cuyo crecimiento suele ser más lento que una especie de monocultivo forestal y así poder predecir el potencial de regeneración a futuro o si alguno de estos indicadores aplicados puede ser un componente limitante para ese mismo potencial. Así mismo, este tipo de variables es útil porque es una herramienta

costo efectiva, producto de que no se utilizan técnicas que mantengan un alto valor económico para su realización.

Por otra parte, este índice de perturbación logró calificar la mayoría de sus variables, puesto que se mostraron alteraciones similares que coincidían con el área de estudio . algunos estudios han diseñado este tipo de herramientas, pero su aplicabilidad está restringida debido a que su metodología apenas replicable (Smith *et al.*1999).

V. CONCLUSIONES

Los incendios forestales en Chile, son un tipo de perturbación que cada vez se vuelve más frecuente y consigo trae severas consecuencias a la vegetación y la dinámica ecosistémica del bosque perturbado. A pesar de lo común de los incendios en Chile central, pocos trabajos han monitoreado los cambios en la vegetación después de lo ocurrido. Este estudio proporciona herramientas que pueden ser fundamentales para el monitoreo de los proyectos de reforestación, puesto que, es necesario establecer evaluaciones de manera rápida y eficiente para una buena calidad de plantación, basándose principalmente en los factores ambientales que pueden limitar el establecimiento y desarrollo óptimo de la vegetación. La creación del índice de perturbación puede ser una herramienta que incentive la persistencia de los ecosistemas forestales y un apoyo hacia la recuperación de bosques. Otorga la principal base para poder analizar el estado de desarrollo de cada individuo y asegurar el éxito de la reforestación. Los resultados de este proyecto sugieren un bajo nivel de supervivencia de las áreas reforestadas, más aún ejemplares que poseen un crecimiento muy acotado. Por otra parte, el fuerte arribo de especies invasoras y su rebrote estimulado por el paso del fuego, llevan a que una gran superficie del proyecto se encuentre invadida por estas últimas, como resultado de su rápido crecimiento y rápida propagación.

Después de un año y medio de plantación, los individuos siguen creciendo, sin embargo, no han sido parte de un proceso de monitoreo exhaustivo, ni se ha realizado un control de especies invasoras. Es por esto que la manera en que se manejen las áreas afectadas por incendios es crucial para determinar si estos, serán los grandes modeladores de la degradación del suelo o quienes disminuyan esta misma.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, T.(2008. Restauración de los sistemas naturales mediterráneos de Chile central. Recuperado 12 de marzo de 2023, de <https://docplayer.es/56272102-Restauracion-de-los-sistemas-naturales-mediterraneos-de-chile-central.html>
- Becerra, P., Figueroa, C., y Meza, A. 2022. Dinámica post-incendio de vegetación en la localidad de Rastrojos, Chile. *SCIELO*. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071766432022000100010&script=sci_arttext
- Carrasco, J., Aguirre, C., & Silva, L. (2018). *Propiedades físicas de los suelos y su relación con la producción de Maíz*. INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6735/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%0385?sequence=1&isAllowed=y>
- De Celis, R., Jordán, A., y Zabala, L. 2018. Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros_livros/viiegfa/Artigo_12_R_eyes_de_Celis.pdf
- Díaz-Hormazábal, I., & González, M. E. 2016. Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque* 37(1): 147-158. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002016000100014>
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., y Montenegro, G. 2010. Restauración ecológica ecosistemas afectados por incendios forestales. (1.ª ed.). https://www.conaf.cl/wpcontent/files_mf/1363716217res_baja.pdf
- García, R., Pauchard, A., Cavieres, L., Peña, E., y Rodríguez, M. (2010). Fire promotes *Teline monspessulana* (Fabaceae) invasion by increasing its germination. *Revista Chilena de Historia Natural*, 443-452. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnat/v83n3/art11.pdf>
- Hernández Gentina, I., y Vita Alonso, A. (2004). Reforestación para la expansión de los bosquetes de Olivillo. (1.ªed.). <http://www.biouls.cl/lfrayjorge/Cap%2018.pdf>
- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3-4), 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.01>
- Knoepp J.P.; L. F. DeBano; D. G. Neary 2005. Chapter 3: Soil Chemistry in Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. D.G. Neary; K. C. Ryan; L. F. DeBano (eds). 2005 Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.

- Mack, R., Simberloff, D., & Lonsdale, M. (2000). *Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología, Consecuencias Globales y Control* (5.^a ed.). Ecological society of America. <https://www.esa.org/wp-content/uploads/2013/03/numero5.pdf>
- Molina, J., y Llinares, J. (2000). Comportamiento del Fuego, Intensidad y Efectos sobre el suelo en quemas controladas sobre matorral valenciano en verano y otoño. *Centro de Investigaciones Sobre Desertificación CIDE*, 155-161. <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=comportamiento+del+fuego+intensidad+y+efectos+sobre&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
- Montorio, R., Pérez-Cabello, F., García-Martin, A., Vlassova, L., & De la Riva Fernández, J. (2014). *La Severidad del Fuego: Revisión de Conceptos, Métodos y Efectos ambientales*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173495/Poza%20-%20Desarrollo%20de%20criterios%20para%20el%20diagnostico%20de%20las%20medidas%20de%20emergencia%20post%20incendio%20en%20..pdf?sequence=4>
- Muñoz-Rojas, M. 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science y Health* 5: 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Oyarzún, C., Frêne, C., Lacrampe, G., Huber, A., y Hervé, P. (2010). Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. *Bosque*, 32(1), 10-19. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002011000100002>
- Úbeda, X., y Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.004>
- Pauchard A., R. Garcia, E. Peña, C. Gonzalez, L. Cavieres y R. Bustamante. 2008 Positive feedbacks between plant invasions and fire regimes: *Teline monspessulana* (L.) K.Koch (Fabaceae) in central Chile. *Biological Invasions* 10: 547-553.
- Peña, E., & Valenzuela, L. (2004, abril). *Incremento de los Incendios Forestales en Bosques Naturales y Plantaciones Forestales en Chile*. https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr208es/psw_gtr208es_595-612_pena-fernandez.pdf
- Peña, M. A., & Ulloa, J. (2017). Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre- y post-incendio. *Revista de teledetección*. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7931>
- Pereira, P., Francos, M., Brevik, E. C., Ubeda, X., y Bogunovic, I. 2018. Post-fire soil management. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 5: 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.002>

- Rojas Barria, M. 2018. Reforestación en núcleos de distintas especies nativas para recuperar áreas afectadas por incendios en Chile central (1.^a ed.). http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-6500/UCC6897_01.pdf
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., y Zhao, C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C R Biol.* 331(3): 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Souza-Alonso, P., G. Saiz, R. García, A., Pauchard, A., Ferreira, A., y Merino, A. 2022. Post-fire ecological restoration in Latin American forest ecosystems: Insights and lessons from the last two decades. *Forest Ecology and Management* 509. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120083>
- Zermeño-Hernández, I., Méndez-Toribio, M., Siebe, C., Benítez-Malvido, J., Martínez-Ramos, M., y Hölzel, N. 2015. Ecological disturbance regimes caused by agricultural land uses and their effects on tropical forest regeneration. *Applied Vegetation Science* 18(3): 443-455. <https://doi.org/10.1111/avsc.12161>